

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.02.14

异色瓢虫对日本龟蜡蚧虫体挥发物的趋性反应

李 伟, 张艳峰*, 谢映平, 牛秀萍

(山西大学生命科学学院, 太原 030006)

摘要: 为明确异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 在取食日本龟蜡蚧 *Ceroplastes japonicus* Green 过程中虫体挥发物的作用, 本研究采用 Y 型嗅觉仪测定了异色瓢虫对日本龟蜡蚧的趋性行为反应, 并利用顶空固相微萃取和气质联用 (HS-SPME-GC/MS) 对日本龟蜡蚧 (卵、若虫、成虫) 的挥发性气味进行分析鉴定。结果表明: 异色瓢虫对日本龟蜡蚧各龄期均有趋性, 其中对成虫的趋性达到极显著水平 ($P < 0.01$)。在日本龟蜡蚧虫体挥发性成分中, 共检出 10 种烷烃类、8 种烯烃类、9 种醇类等 47 种组分。选取其中两种含量较大的组分 1-辛烯-3-醇和 1R- α -蒎烯进行单组分趋性试验, 结果表明 1-辛烯-3-醇在浓度为 10^{-4} g/mL 和 10^{-5} g/mL、1R- α -蒎烯在浓度为 10^{-5} g/mL 和 10^{-6} g/mL 时对异色瓢虫具有明显吸引效应, 其中 10^{-4} g/mL 的 1-辛烯-3-醇和 10^{-5} g/mL 的 1R- α -蒎烯引诱率分别达到 73.65% 和 76.41%, 差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)。上述结果为进一步研究异色瓢虫的引诱剂奠定了基础。

关键词: 异色瓢虫; 日本龟蜡蚧; 挥发物; 趋性反应

中图分类号: Q968.1; S476

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 02-0325-08

Selection response of *Harmonia axyridis* (Pallas) to body volatile of *Ceroplastes japonicus* Green

LI Wei, ZHANG Yan-Feng*, XIE Ying-Ping, NIU Xiu-Ping (College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract: To clear the function of the body volatile of *Ceroplastes japonicus* Green in the foraging of *Harmonia axyridis* (Pallas), selection response of *H. axyridis* to *C. japonicus* was investigated by using the Y-olfactory instrument, and the volatile components of the scale insect (egg, nymph, adult) were studied by headspace solid phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC/MS). The results showed that *H. axyridis* showed obvious selection to *C. japonicus* in different instars, and the selective effect to adult reached significantly different level ($P < 0.01$). A total of 47 compounds were analyzed and identified, including 10 alkanes, 8 alkenes, 9 alcohols and so on. Furthermore, the two compounds (1-Octen-3-ol and 1R- α -Pinene) were selected from the volatile to examine their attraction power to the ladybug. The result indicated that 1-Octen-3-ol displayed an obvious attractiveness to *H. axyridis* at concentration of 10^{-4} g/mL and 10^{-5} g/mL, while 1R- α -Pinene did the same role in 10^{-5} g/mL and 10^{-6} g/mL. And the tendency percentages to 1-Octen-3-ol at concentration of 10^{-4} g/mL and 1R- α -Pinene at concentration of 10^{-5} g/mL were 73.65% and 76.41%, which reached significantly different level ($P < 0.01$). The results laid a foundation for further research on the attractant of *H. axyridis*.

Key words: *Harmonia axyridis*; *Ceroplastes japonicus* Green; volatile; selection response

基金项目: 国家自然科学基金-青年科学基金项目 (31200495); 山西省青年科技基金 (2011021029-2)

作者简介: 李伟, 男, 1991 年生, 山西寿阳人, 在读研究生, 研究方向为化学生态学与病虫害防治, E-mail: wei384495395@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zyf@sxu.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-01-29; 接受日期 Accepted: 2016-03-09

异色瓢虫 *Harmonia axyridis* (Pallas) 属于鞘翅目 Coleoptera 瓢虫科 Coccinellidae, 在国内有广泛分布, 是蚧虫和蚜虫最为常见的捕食性天敌 (严静君等, 1989)。日本龟蜡蚧 *Ceroplastes japonicus* Green 属于半翅目 Hemiptera 蚧总科 Coccoidea, 在我国北方柿树和枣树上普遍存在, 以刺吸式口器吸取植物汁液, 并排泄蜜露, 诱发霉污病发生, 最终使寄主植物树势衰弱、落花落果、甚至死亡 (谢映平, 1998)。据观察, 在山西省运城市稷山县开东村 (110° 54' 15" E, 35° 39' 55" N, 海拔 557 m) 日本龟蜡蚧在柿树上危害严重, 有虫株率几乎达 90%, 其天敌主要有捕食性瓢虫: 七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*、异色瓢虫和红点唇瓢虫 *Chilocorus kuwanae* Silvestri, 以异色瓢虫数量最大。目前对该蚧虫的防治仍采用喷洒化学杀虫剂的方法, 然而该蚧虫繁殖量大, 且虫体的蜡腺分泌大量蜡质形成蜡壳 (谢映平, 1998), 化学杀虫剂很难达到理想的防治效果, 反而污染环境, 大量杀伤天敌, 导致蚧虫的再猖獗。因此, 利用化学信息吸引天敌对其进行生物防治, 为实现该蚧虫的可持续控制提供新的思路。

研究表明在天敌寻找寄主、猎物的过程中, 挥发性的信息化学物质如害虫挥发性气味和受害植株释放的互利素往往起着非常关键的作用 (Shiojin and Takabayashi, 2000; Rogers and Potter, 2002; Colazza *et al.*, 2004; Turlings and Wackers, 2004)。如 Verheggen (2008) 研究发现, 蚕豆蚜 *Acyrtosiphon pisum* 的捕食性天敌瓢虫的捕食作用在蚕豆蚜危害蚕豆后增强。韩宝瑜 (2001) 发现茶蚜 *Toxoptera aurantii* 体表正己烷、乙醚漂洗物对其天敌中华草蛉 *Chrysopa sinica*、蚜茧蜂 *Aphidius* sp. 和七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* 具有显著的引诱效应。天敌对害虫源释放的信息素的识别能力, 可以使天敌对害虫的生物防治作用增强 (张贺贺等, 2015)。早在上个世纪就有很多利用天敌瓢虫对害虫进行防治的例子, 如利用澳洲瓢虫 *Rodolia cardinalis*、孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* 防治柑橘介壳虫 *Lecanium conic* (蒲蛰龙等, 1959), 异色瓢虫防治高粱蚜 *Melanaphis sacchari* 等都取得了显著成果 (马世骏, 1976)。韩宝瑜和陈宗懋 (2000) 利用嗅觉仪观察异色瓢虫 4 个变种对茶蚜和蚜害虫梢复合体的趋向反应, 发现显明变种对该复合体趋性明显。研究有关日本龟蜡蚧虫体挥发物对异色瓢虫引诱效应未见

报道。

为此, 我们测定了异色瓢虫对日本龟蜡蚧虫体的趋性试验、检测分析了日本龟蜡蚧各龄期虫体的挥发性物质, 并选取虫体的两种挥发物单组份 (1-辛烯-3-醇和 1R- α -萘烯) 对异色瓢虫做了趋性行为反应试验。以期寻找其中可能存在的利它素, 为日本龟蜡蚧的天敌引诱剂的制备提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与材料

GC/MS 气质联用仪 BRUKER320 (美国 Bruker Daltonic Inc. 公司) 由北京师范大学分析测试中心提供; 20 mL 顶空微萃取瓶 (美国 Agilent 公司); 固相微萃取装置和萃取纤维: 65 μ m PDMS/DVB (聚二甲基硅氧烷/聚二乙烯基苯) (美国 Supelco 公司)。

实验用日本龟蜡蚧、异色瓢虫于 2015 年 5 - 10 月采自山西省运城市稷山县日本龟蜡蚧发生的柿树林, 在实验室短期饲养, 以备试验, 异色瓢虫在 Y 型嗅觉仪行为反应实验前禁食 24 h。

1.2 供试化合物

1-辛烯-3-醇 (纯度 98%, 成都西亚试剂有限公司), 1R- α -萘烯 (纯度 98%, 美国 Sigma 公司)。将待测的化合物以液状石蜡 Puyaffin liquid (天津市天大化工实验厂) 为溶剂配制成 10^{-3} g/mL、 10^{-4} g/mL、 10^{-5} g/mL 和 10^{-6} g/mL 四个浓度梯度的溶液, 避光封口贮藏于 -20℃ 冰箱中以供 Y 型嗅觉仪行为反应实验用。

1.3 异色瓢虫对日本龟蜡蚧的趋性试验

1.3.1 试验装置

试验装置由 Y 型嗅觉仪、蒸馏水瓶、活性炭过滤器、通气泵 (QC-1B 型大气采样仪) 连接而成。Y 型嗅觉仪是自行设计的, 其管臂长 13 cm, 直管长 20 cm, 内径 2 cm $\times$ 5 cm, 两臂夹角 60°, 接口均为标准磨口; 使用与 Y 型管两臂直接连通的味源球, 内径 5 cm, 容积 0.05 L。试验时, 在 Y 型管上方 20 cm 处放置一个 30 W 日光灯以平衡光照, 以减少自然光的变化对趋性试验的影响。Y 型管两臂分别通过特氟龙管与味源瓶相连。在气流进入味源球前先经过一个活性炭过滤管和一个蒸馏水瓶, 以净化空气和增加空气湿度。

1.3.2 试验方法

异色瓢虫对日本龟蜡蚧虫卵、若虫和成虫的

趋性试验方法参照 Zhang *et al.* (2009) 的方法并略有改进。Y 型嗅觉仪两臂连接的味源球分别放置试验气味源和对照气味源。每臂管气体流量控制在 200 mL/min。试验时先对 Y 型管通气 10 min, 然后对试验瓢虫进行趋性测试, 试验时逐头引入, 观察其在 20 min 内对味源的行为反应。当其向某一味源方向爬行到达或超过臂长的 1/3 处并持续 1 min 以上或一直到达出口的, 或者停留 1 min 后又向其他方向爬行的, 都记为对该气味源有趋性反应, 如在 20 min 内仍未作出选择, 记为没有趋性反应。

瓢虫试验每次以 20 头为 1 重复, 每组设 6 个重复。在每个重复测定完后, 用去污粉清洗整个装置, 并用 95% 酒精润洗、热风吹干, 以消除味源残留, 同时将嗅觉仪左右臂调换方位, 以消除昆虫趋光性或管臂差异可能对试验结果的影响。味源物和瓢虫均不重复使用。

1.3.3 测试条件

实验室环境中, 温度 22℃ – 25℃, 湿度 30% – 45%, 时间 9:00 – 16:00。

1.3.4 数据处理

试验结果用卡方检验进行趋向差异性分析。

1.4 固相微萃取与气相色谱质谱联用实验

1.4.1 样品制备

挑取个头大小相近的各龄期日本龟蜡蚧 (虫卵、若虫和成虫每 10 g 分别置于一个顶空样品瓶中)。密封后置于室温下平衡 10 min, 之后迅速进行顶空微萃取。

1.4.2 顶空固相微萃取

实验前设置气质联用仪进样口温度为 250℃, 将萃取纤维在质谱仪活化 20 min, 将活化好的固相微萃取装置的针头穿透顶空样品瓶瓶盖上的隔膜, 插入瓶内虫体上方, 然后小心的推出纤维, 同时用固定装置固定固相微萃取装置的手柄, 自萃取纤维推出后开始计时, 室温下待吸附完毕后 (吸附 90 min), 立即在 GC/MS 进样口 250℃ 解析 5 min, 进行 GC/MS 分析。

1.4.3 气相色谱—质谱联用分析条件

GC 条件: DB-5 MS 毛细管柱 (0.25 mm × 0.25 μm × 30 m); 程序升温条件如下: 起始温度 40℃, 保持 5 min, 再以 10℃/min 上升至 260℃, 保持 13 min, 最大温度控制在 260℃, 共 40 min。进样口温度 250℃, 载气: He, 氦气流速 1.0 mL/min, 不分流方式。

MS 条件: 电子轰击离子源 (EI), 源温 210℃; 传输线温度 250℃; 电子能量为 70 eV, 采集范围 m/z 为 45.0 – 800.0, 采集方式 Scan。

1.4.4 数据处理

样品中挥发性成分由计算机检索与 NIST08 标准质谱库匹配求得, 统计匹配度均大于 800 的挥发性成分, 挥发性成分定量分析采用峰面积归一化法。

1.5 异色瓢虫对单组份化合物的趋性试验

本部分研究选取固相微萃取与气相色谱质谱联用实验中测得的日本龟蜡蚧虫体挥发物中的 2 种单组份化合物 (1-辛烯-3-醇和 1R- α -萜烯) 进行 Y 型嗅觉仪行为反应实验, 方法参照 1.3。将 2 mL 单组份化合物滴加在滤纸条上, 放入某一测试臂中, 将含有相同体积液体石蜡的滤纸条放入另一测试臂中作为对照。同一样品按照 10^{-6} g/mL、 10^{-5} g/mL、 10^{-4} g/mL、 10^{-3} g/mL 浓度由低到高的顺序进行测定。

2 结果与分析

2.1 异色瓢虫成虫对日本龟蜡蚧的生物活性测定结果

测试了异色瓢虫成虫对日本龟蜡蚧虫卵、若虫和成虫的趋性, 结果见图 1。由图 1 可知, 瓢虫进入嗅觉仪后触角开始不断伸张摆动对气味进行搜索, 沿着管臂螺旋式逆着气流行进, 并很快趋向含有猎物气味的味源, 如在爬向一方 Y 型臂无果后会爬离, 在管内来回爬行继续进行搜索行为。异色瓢虫对日本龟蜡蚧 5 g 虫卵、10 g 虫卵、10 g 若虫和 5 g 成虫的味源与对照味源的趋性达到显著水平 ($0.01 < P < 0.05$), 趋向率为 63.16% – 64.47%; 对 10 g 日本龟蜡蚧成虫的味源与对照味源的趋性达到极显著水平 ($P < 0.01$), 趋向率达到 74.70%; 对 5 g 若虫没有趋向性。

2.2 GC/MS 检测结果

采用 65 μm PDMS/DVB 萃取纤维对日本龟蜡蚧的卵、若虫和成虫分别进行萃取, 并用 GC-MS 分析, 选择匹配度大于 800, 且相对含量高于 1% 的挥发物, 结果见表 1。日本龟蜡蚧不同龄期的挥发性成分中, 总共检出 47 种主要的挥发性成分, 包括 10 种烷烃类、8 种烯烃类、9 种醇类、1 种醛类、3 种酮类、1 种酚类、2 种酸类、10 种酯类和 3 种其它 (表 1)。

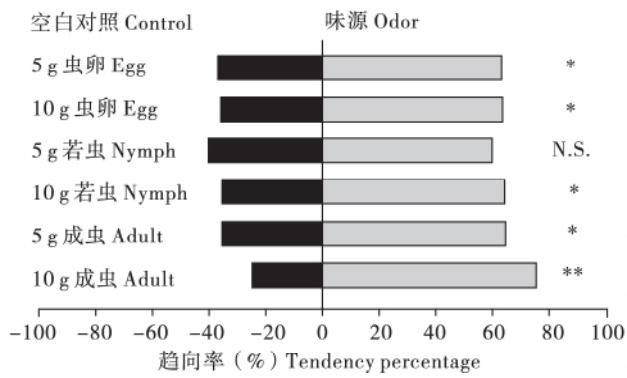


图1 异色瓢虫对不同味源物的趋向率

Fig. 1 Tendency percentage of *Harmonia axyridis* to different odor sources

注: **, 表示趋性差异极显著; *, 表示趋性差异显著; N. S., 表示趋性无显著差异。Note: **, means $P < 0.01$; *, means $0.01 < P < 0.05$; N. S., means $P > 0.05$.

总体来看,不同发育阶段虫体和虫卵的挥发性组分有明显差异(见表1),其中卵共检出26种化合物,包括7种烷烃(12.25%),6种烯烃(15.31%),4种醇类(46.79%),3种酮类(15.45%),1种酚类(0.31%),3种酯类(5.32%)和2种其它(2.51%)(表1)。相对含量最大的是1-辛烯-3-醇,占36.82%,其次是3-辛酮(8.16%)、3-辛醇(6.36%)、2-壬酮(6.12%)和三十一烷(5.35%)(表1)。

若虫共检出25种化合物,包括7种烷烃

(18.06%),2种烯烃(7.71%),4种醇类(39.48%),1种醛类(3.03%),2种酮类(7.19%),1种酸(0.93%),7种酯类(16.77%)和1种其它(5.42%)(表1)。相对含量最大的是1-辛烯-3-醇,占22.08%,其次是正己醇(12.92%)、水杨酸异丙基酯(7.14%)和1R- α -萜烯(5.83%)(表1)。

成虫共检出24种化合物,包括4种烷烃(7.76%),4种烯烃(19.19%),5种醇类(28.75%),1种醛类(0.58%),2种酮类(10.23%),1种酚类(5.52%),2种酸(3.65%),3种酯类(13.38%)和2种其它(9.26%)(表1)。同样是1-辛烯-3-醇相对含量最大,占17.23%,其次是1R- α -萜烯(9.45%)、3-辛醇(7.39%)、癸酸乙酯(7.07%)和1-氯十八烷(5.97%)(表1)。

经比较发现各龄期共有的成分是:十五烷、1R- α -萜烯、1-辛烯-3-醇、3-辛醇、3-辛酮和2-壬酮。而 γ -古芸烯、异喇叭烯、 α -古芸烯、2-十四醇、蔚西醇、2-十一酮和 γ -戊内酯是虫卵挥发物的特有成分;1,2-二甲基-3-戊烷基环丙烷、 α -萜澄茄油烯、正己醇、2-辛醇、4-甲基戊酸乙酯、醋酸己酯、 γ -己内酯、甲酸辛酯、水杨酸异丙基酯和D-海藻糖是若虫挥发物的特有成分;4-亚甲基癸烷、2,6,10,14-四甲基十五烷、衣兰烯、4-乙基-1-炔基-3-醇、2-壬醇、2-苯基乙醇、辛酸和丙烯酸二甲胺基乙酯是成虫挥发物的特有成分(表1)。

表1 日本龟蜡蚧在不同龄期时主要挥发性成分及相对含量(%)

Table 1 The main volatile components and relative content of *Ceroplastes japonicus* in different instars

化合物 Compound		卵 Egg	若虫 Nymph	成虫 Adult
烷烃类 Alkane	十二烷 Dodecane	0.82	1.97	—
	十三烷 Tridecane	0.08	3.25	—
	十五烷 Pentadecane	1.52	2.11	2.21
	十六烷 Hexadecane	1.69	3.32	—
	十七烷 Heptadecane	0.79	—	3.34
	三十烷 Triacontane	2.00	1.74	—
	三十一烷 Hentriacontane	5.35	2.34	—
	1,2-二甲基-3-戊烷基环丙烷 1,2-Dimethyl-3-pentylcyclopropane	—	3.33	—
	4-亚甲基癸烷 Decane, 4-methylene	—	—	1.08
	2,6,10,14-四甲基十五烷 2,6,10,14-Tetramethylpentadecane	—	—	1.13

续上表

	化合物 Compound	卵 Egg	若虫 Nymph	成虫 Adult
烯烃类 Alkene	1R- α -蒎烯 1R- α -Pinene	3. 69	5. 83	9. 45
	α -古芸烯 . gamma. -Gurjunene	5. 01	—	—
	异喇叭烯 Isoledene	1. 99	—	—
	α -柏木烯 . alpha. -Cedrene	1. 25	—	2. 33
	α -愈创烯 . alpha. -Guaiene	0. 34	—	2. 46
	α -古芸烯 . alpha. -Gurjunene	3. 03	—	—
	α -葑烯油烯 . alpha. -Cubebene	—	1. 88	—
	衣兰烯 Ylangene	—	—	4. 95
醇类 Alcohol	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	36. 82	22. 08	17. 23
	3-辛醇 3-Octanol	6. 36	2. 15	7. 39
	2-十四醇 2-Tetradecanol	1. 62	—	—
	蔚西醇 Verticillol	1. 99	—	—
	正己醇 1-Hexanol	—	12. 92	—
	2-辛醇 2-Octanol	—	2. 33	—
	4-乙基-1-炔基-3-醇 4-Ethyl-1-octyn-3-ol	—	—	1. 13
	2-壬醇 2-Nonanol	—	—	1. 93
	2-苯基乙醇 Phenylethyl Alcohol	—	—	1. 07
醛类 Aldehyde	壬醛 Nonanal	—	3. 03	0. 58
酮类 Ketone	3-辛酮 3-Octanone	8. 16	5. 18	4. 93
	2-壬酮 2-Nonanone	6. 12	2. 01	5. 3
	2-十一酮 2-Undecanone	1. 17	—	—
酚类 Phenol	2,6-双(1,1-二甲基乙基)-4-(1-氧丙基)苯酚 2,6-Bis(1,1-dimethylethyl)-4-(1-oxopropyl)phenol	0. 31	—	5. 52
酸类 Acids	酸 Decanoic acid	—	0. 93	2. 52
	辛酸 Octanoic Acid	—	—	1. 13
酯类 Esters	己二酸双(2-丁氧基乙基)酯 Adipic acid, bis(2-butoxyethyl) ester	0. 43	—	1. 45
	γ -戊内酯 . gamma. -Valerolactone	3. 24	—	—
	4-甲基戊酸乙酯 Ethyl 4-methylvalerate	—	2. 66	—
	醋酸己酯 Acetic acid, hexyl ester	—	1. 55	—
	γ -己内酯 . gamma. -Caprolactone	—	1. 24	—
	甲酸辛酯 Octyl formate	—	1. 05	—
	水杨酸异丙基酯 Salicylic acid, isopropyl ester	—	7. 14	—
	癸酸乙酯 Ethyl decanoate	—	1. 87	7. 07
	邻苯二甲酸二异丁酯 Phthalic acid, diisobutyl ester	1. 65	1. 26	—
	丙烯酸二甲胺基乙酯 Dimethylaminoethyl acrylate	—	—	4. 86
	1-氯十八烷 1-Chlorooctadecane	2. 36	—	5. 97
	4-十八烷基吗啉 4-Octadecylmorpholine	0. 15	—	3. 29
	D-海藻糖 D-Fucose	—	5. 42	—

注: —, 表示未检测到。Note: —, indicated undetected.

2.3 异色瓢虫对单组份化合物的趋性测定结果

异色瓢虫成虫对 1-辛烯-3-醇和 1R- α -萜烯各浓度梯度的趋性反应结果见图 2, 结果显示 1-辛烯-3-醇在浓度为 10^{-4} g/mL 和 10^{-5} g/mL 时, 对异色瓢虫都具有吸引效应, 引诱率分别为 73.65% 和 62.23%, 与对照相比其引诱力达到了极

显著 ($P < 0.01$) 和显著水平 ($0.01 < P < 0.05$)。1R- α -萜烯在浓度为 10^{-5} g/mL 和 10^{-6} g/mL 时具有引诱活性, 前者的吸引率达到 76.41%, 与对照相比, 差异极显著 ($P < 0.01$), 后者的吸引率为 63.58%, 达到显著差异水平 ($0.01 < P < 0.05$)。其它浓度不具备引诱效应。

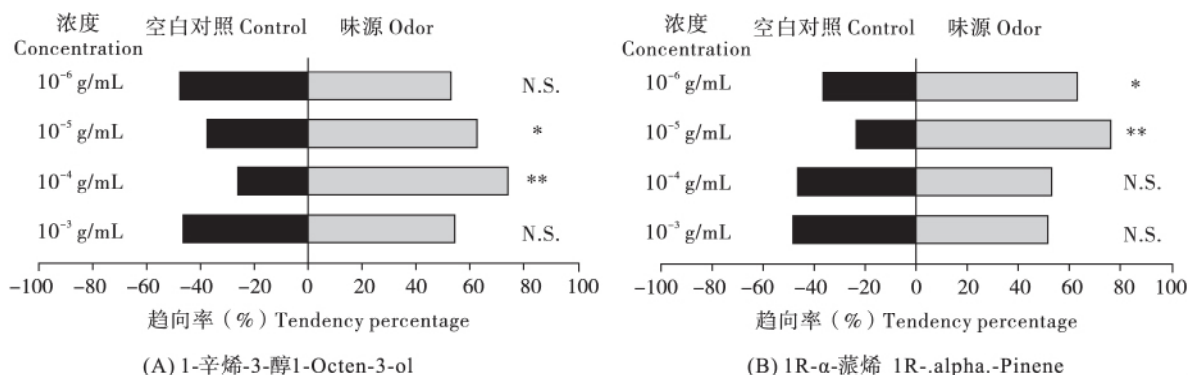


图 2 异色瓢虫对 (A) 1-辛烯-3-醇和 (B) 1R- α -萜烯四个浓度的趋向率

Fig. 2 Tendency percentage of *H. axyridis* to the odors of (A) 1-Octen-3-ol and (B) 1R- α -Pinene at 4 concentrations

注: **, 表示趋性差异极显著; *, 表示趋性差异显著; N. S., 表示趋性无显著差异。Note: **, means $P < 0.01$; *, means $0.01 < P < 0.05$; N. S., means $P > 0.05$.

3 结论与讨论

异色瓢虫对日本龟蜡蚧虫卵、若虫、成虫均有明显的趋向反应, 趋向率由 63.16% 逐渐升高到 74.70% (图 1), 并存在一定的剂量效应, 这很有可能与日本龟蜡蚧随着龄期的增加蜡分泌物也随之增多有关。由此可推断, 在异色瓢虫对柿树和日本龟蜡蚧的搜寻过程中, 柿树挥发量较大可作为长距离引诱物, 是植物源信息素; 日本龟蜡蚧成虫蜡分泌物较多可作为短距离引诱物, 是昆虫源利它素; 若虫和卵可作为接触性引诱物, 是接触源信息素。杨新根等 (2006) 发现红点唇瓢虫对日本龟蜡蚧有明显趋性, 赵悠悠等 (2006) 在研究中也发现受害柿树挥发物和日本龟蜡蚧挥发物组份共同参与了对异色瓢虫的招引。他们的结果在本实验中也得到了进一步验证。韩宝瑜和陈宗懋 (2000) 试验发现茶蚜体表乙醚或正己烷漂洗物对异色瓢虫显明变种有较强引诱力。这进一步揭示了异色瓢虫对蚜虫和蚧虫具有显著跟随效应的原因。

1-辛烯-3-醇在日本龟蜡蚧卵、若虫和成虫期都是相对含量最大的组份, 分别达到 36.82%、

22.08% 和 17.23% (表 1), 朝鲜毛球蚧 *Didesmococcus koreanus* Borchsenius 中也存在类似的情况, 我们用同样的方法收集并测得其若虫和卵的挥发物中 1-辛烯-3-醇的含量较大。在异色瓢虫对 1-辛烯-3-醇单组份味源的趋性试验中, 趋向率达到 73.65%, 与对照相比差异极显著 (图 2)。有报道发现马尾松针叶挥发物 1-辛烯-3-醇对马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* Walker 的四种寄生性天敌, 蚕饰腹寄蝇 *Blepharipa zebina* Walker、松毛虫狭颊寄蝇 *Carcelia matsukarehae* Shima、齿腿长尾小蜂 *Monodontomerus minor* Ratzeburg 和花胸姬蜂 *Gotra octocinctus* Ashmead 都具有明显的电生理活性 (徐延熙, 2006)。此外, 1-辛烯-3-醇是一种微生物源挥发性化合物, 可以抑制青霉属、曲霉属、根霉属等多种真菌的生长 (Chitarra *et al.*, 2005), 诱导植株抗病以防御外来病原菌的侵染 (Ryu *et al.*, 2004)。也有报道 1-辛烯-3-醇是香蕉蛭蚧 *Ariolimax columbianus* 的取食抑制剂 (Wood *et al.*, 2001), 对纵坑切梢小蠹 *Tomicus minor* Hartig 有抑制作用 (Schlyter *et al.*, 2000)。我们推测 1-辛烯-3-醇除了可以引诱天敌异色瓢虫外, 很有可能在日本龟蜡蚧自身的生活史以及与寄主的关系中扮演重要的角色, 值得进一步深入研究。

天敌昆虫能够利用植物和植食性昆虫所释放的信息化合物来寻找猎物。 α -蒎烯作为一种萜烯类化合物,在多种植物中被检出(Chenier and Philogene, 1989; 杨新根等, 2006; 薛皎亮等, 2008; War *et al.*, 2011)。例如 Zhang *et al.* (2009) 研究发现 α -蒎烯是柿树受到日本龟蜡蚧危害后新产生挥发物中增加量最明显的,且红点唇瓢虫对 α -蒎烯有明显的趋向效应,柿树中 α -蒎烯的增多与瓢虫趋性一致,说明 α -蒎烯是对红点唇瓢虫起招引作用的物质。也有报道发现松树挥发物中的 α -蒎烯对寄生针叶树的天牛科 Cerambycidae、象甲科 Curculionidae、小蠹虫科 Scolytidae、郭公甲科 Cleridae 的昆虫具有引诱作用(Chenier and Philogene, 1989)。Erbilgin and Raffa (2001) 研究发现 α -蒎烯可使多种天敌对波缝重齿小蠹 *Ips pini* (Say) 和光间十齿小蠹 *Ips gradicollis* 的信息素的反应产生增效作用。本研究发现 1R- α -蒎烯在日本龟蜡蚧成虫期相对含量仅次于 1-辛烯-3-醇,在若虫期和卵中相对含量也较多(表 1)。这与本实验室测得的草履蚧各龄期的虫体挥发物中均出现 1R- α -蒎烯类似。在异色瓢虫对 1R- α -蒎烯单组份味源的趋性试验中,趋向率达到 76.41%,与对照相比差异极显著(图 2)。

泽桑梓等(2010)在华山松木蠹象 *Pissodes punctatus* Langoret Zhang 的新鲜虫粪和雄虫后肠挥发性物质中检测出松树挥发性的 α -蒎烯。孔祥波等(2005)研究发现 1-辛烯-3-醇很可能是双条杉天牛 *Semanotus bifasciatus* Motschulsky 非寄主植物释放的绿叶成分。徐延熙(2006)也在马尾松针叶挥发物中检测出 1-辛烯-3-醇,推测其很可能是一种挥发性绿叶成分。据报道(Tumlinson *et al.*, 1992)植食性昆虫食入的寄主植物成分在通过肠道处理之后会以分泌物或排泄物的形式排出体外,所以测得的 1-辛烯-3-醇和 1R- α -蒎烯很有可能是日本龟蜡蚧在食入植物成分后体现在自身的一种物质。这有待进一步去深入研究验证。

近几年,国外开始对植物-蚧虫-天敌 3 者间的化学联系进行研究,目前已发现木薯绵粉蚧 *Phenacoccus manihoti*、橘臀纹粉蚧 *Planococcus citri*、以色列松干蚧 *Matsucoccus josephi* 等蚧虫及其寄主植物与天敌昆虫跳小蜂 *Apoanagyrus lopezi*、光瓢虫 *Exochomus flaviventris*、孟氏隐唇瓢虫 *Cryptolaemus montrouzieri* 等寄生性、捕食性天敌之间的信息素联系(董文霞和韩宝瑜, 2005)。本文利用昆虫化

学生态学中的生物测定方法,初步研究了日本龟蜡蚧虫体挥发物对异色瓢虫的招引效应,结果表明了 1-辛烯-3-醇和 1R- α -蒎烯在对异色瓢虫的招引过程中发挥重要作用,是对柿树-日本龟蜡蚧-异色瓢虫之间化学信息联系的进一步补充,对异色瓢虫引诱剂的制备提供了参考,以期达到对日本龟蜡蚧更好的防治效果。然而目前只测定了 2 种味源物对异色瓢虫的室内引诱试验,接下来还需要做多组分的引诱试验并进一步对异色瓢虫进行相关的电生理试验和田间引诱试验,以能确定它们的具体作用。

参考文献 (References)

- Chenier JVR, Philogene BJR. Field responses of certain forest coleoptera to conifer monoterpenes and athanol [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1989, 15 (6): 1729 - 1745.
- Chittarra GS, Abee T, Rombouts FM, *et al.* 1-Octen-3-ol inhibits conidia germination of *Penicillium paneum* despite of mild effects on membrane permeability, respiration, intracellular pH, and changes the protein composition [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2005, 54: 67 - 75.
- Colazza S, Mcelfresh JS, Millar JG. Identification of volatile synomones, induced by *Nezara viridula* feeding and oviposition on bean spp., that attract the egg parasitoid *Trissolcus basalidis* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30 (5): 945 - 964.
- Dong WX, Han BY. Research progress on the chemical ecology of scale insects [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (4): 878 - 884. [董文霞, 韩宝瑜. 蚧虫化学生态学研究进展 [J]. 生态学报, 2005, 25 (4): 878 - 884]
- Erbilgin N, Raffa KF. Modulation of predator attraction to pheromones of two prey species by stereochemistry of plant volatiles [J]. *Oecologia*, 2001, 127: 444 - 453.
- Han BY. Attractive activity to natural enemies and component analysis of the rinses from tea aphid body surface [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2001, 44 (4): 541 - 547. [韩宝瑜. 茶蚜体表漂洗物对天敌的引诱活性及组分分析 [J]. 昆虫学报, 2001, 44 (4): 541 - 547]
- Han BY, Chen ZM. Behavior response of four *Leis axyridis* varieties to volatiles from tea and *Toxoptera aurantii* [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11 (3): 413 - 416. [韩宝瑜, 陈宗懋. 异色瓢虫 4 变种成虫对茶和茶蚜气味行为反应 [J]. 应用生态学报, 2000, 11 (3): 413 - 416]
- Kong XB, Zhang Z, Wang HB, *et al.* Analysis of *Platycladus orientalis* volatiles and their electroantennogram responses with *Semanotus bifasciatus* [J]. *Forest Research*, 2005, 18 (3): 260 - 266. [孔祥波, 张真, 王鸿斌, 等. 侧柏挥发性化学成分的鉴定及其对双条杉天牛的触角电位反应 [J]. 林业科学研究, 2005, 18 (3): 260 - 266]
- Ma SJ. View of integrated control on agricultural pests [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1976, 5: 129 - 141. [马世骏. 谈农业害

- 虫的综合防治 [J]. 昆虫学报, 1976, 5: 129 – 141]
- Pu ZL, He DP, Deng DA. The reproduction and application of *Rodolia cardinalis* and *Cryptolaemus montrouzieri* [J]. *Journal of Sun Yat-sen University*, 1959, 2: 1 – 8. [蒲蛰龙, 何等平, 邓德藻. 孟氏隐唇瓢虫和澳洲瓢虫的繁殖和利用 [J]. 中山大学学报, 1959, 2: 1 – 8]
- Rogers ME, Potter DA. Kairomones from scarabaeid grubs and their frass as cues in below-ground host location by the parasitoids *Tiphia vernalis* and *Tiphia pygidialis* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2002, 102: 307 – 314.
- Ryu CM, Farag MA, Hu CH, et al. Bacterial volatiles induce systemic resistance in *Arabidopsis* [J]. *Plant Physiology*, 2004, 134 (3): 1017 – 1026.
- Schlyter F, Zhang QH, Anderson P, et al. Electrophysiological and behavioural responses of *Tomicus piniperda* and *Tomicus minor* (Coleoptera: Scolytidae) to non-host leaf and bark volatiles [J]. *The Canadian Entomologist*, 2000, 132: 965 – 981.
- Shiojin K, Takabayashi J. Flight response of parasitoids toward plant-herbivore complexes: A comparative study of two parasitoid-herbivore systems on cabbage plant [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2000, 35 (1): 87 – 92.
- Tumlinson JH, Turlings TCJ, Lewis WJ. The semiochemical complex that mediate insect parasitoid foraging [J]. *Agriculture Zoology Reviews*, 1992, 5: 221 – 252.
- Turlings TCJ, Wackers F. Recruitment of predators and parasitoids by herbivore-injured plant [J]. *Advances in Insect Chemical Ecology*, 2004, 2: 21 – 75.
- Verheggen JC. The predation of *Onus similis* on *Aphis craccivora* and *Frankliniella occidentalis* [J]. *Biochemical Control*, 2008, 10: 143 – 149.
- War AR, Sharma HC, Paulraj MG, et al. Herbivore induced plant volatiles: Their role in plant defense for pest management [J]. *Plant Signaling and Behavior*, 2011, 6: 1973 – 1978.
- Wood WF, Archer CL, Largent DL. 1-Octen-3-ol, a banana slug antifeedant from mushrooms [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2001, 29: 531 – 533.
- Xie YP. The Scale Insects of the Forest and Fruit Trees in Shanxi of China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998, 22 – 38. [谢映平. 山西林果蚧虫 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1998, 22 – 38]
- Xue JL, He J, Xie YP. Attractive effect of plant volatiles on *Harmonia axyridis* (Pallas) [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2008, 14 (4): 494 – 498. [薛皎亮, 贺璐, 谢映平. 植物挥发物对天敌昆虫异色瓢虫的引诱效应 [J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14 (4): 494 – 498]
- Xu YX. Absorption and Identification of the Semiochemicals from *Pinus massoniana* and *Dendrolimus punctatus* and Activity Tests to Parasitoids [D]. Taian: Agricultural University of Shandong, 2006. [徐延熙. 马尾松、马尾松毛虫信息化学物质的提取、鉴定及对天敌的活性测定 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2006]
- Yang XG, Xie YP, Xue JL, et al. Change in volatiles of *Diospyros Kaki* Lf damaged by *Ceroplastes japonicas* Green and their attraction to *Chilocorus kuwanae* Silvestri [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2006, 12 (2): 215 – 219. [杨新根, 谢映平, 薛皎亮, 等. 柿树被日本龟蜡蚧危害后挥发物的变化及其对红点唇瓢虫的引诱作用 [J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12 (2): 215 – 219]
- Yan JJ, Xu CH, Li GW, et al. Forest Pests and Natural Enemy Insects [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1989, 42 – 48. [严静君, 徐崇华, 李广武, 等. 林木害虫天敌昆虫 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989, 42 – 48]
- Ze SZ, Yan ZL, Zhang Z, et al. Identification and bioassay of aggregation pheromone components of *Pissodes punctatus* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2010, 53 (3): 293 – 297. [泽桑梓, 闫争亮, 张真, 等. 华山松木蠹象聚集信息素分离鉴定和引诱效果 [J]. 昆虫学报, 2010, 53 (3): 293 – 297]
- Zhang HH, Chen JH, Ji QE, et al. Overview in the study and application of the influencing factors on oviposition behavior of insects [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (2): 432 – 440. [张贺贺, 陈家骅, 季清娥, 等. 影响昆虫产卵行为的因素及其应用研究概述 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (2): 432 – 440]
- Zhang YF, Xie YP, Xue JL, et al. Effect of volatile emissions, especially α -Pinene, from persimmon trees infested by Japanese wax scales or treated with methyl jasmonate on recruitment of ladybeetle predators [J]. *Environmental Entomology*, 2009, 38 (5): 1439 – 1445.
- Zhao YY, Xie YP, Yang XG, et al. Persimmon and jujube damaged by a scale insect, *Ceroplastes japonicas* attraction to the two species of natural enemies [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42 (6): 79 – 85. [赵悠悠, 谢映平, 杨新根, 等. 受日本龟蜡蚧危害的柿树和枣树对 2 种天敌昆虫的招引作用 [J]. 林业科学, 2006, 42 (6): 79 – 85]